

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. September 2003 (18.09.2003)

PCT

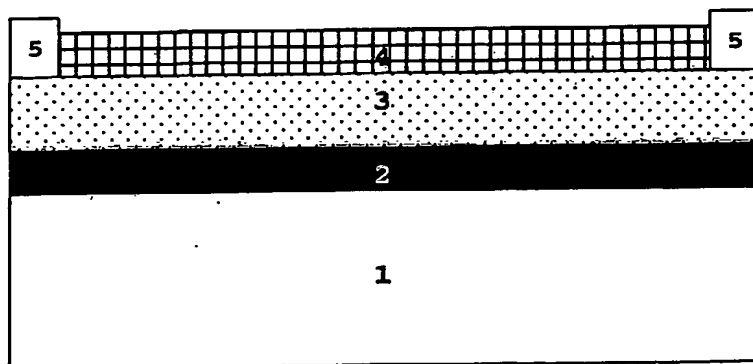
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/076921 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01N 27/416 (72) Erfinder; und
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/02544 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DOLL, Theodor [DE/DE]; Unterer Sonnenhang 10, 99310 Arnstadt (DE). BÖTTNER, Harald [DE/DE]; Seilerweg 5, 79108 Freiburg (DE). WÖLLENSTEIN, Jürgen [DE/DE]; Hohenzollernstr. 7, 79106 Freiburg (DE). JÄGLE, Martin [DE/DE]; Dorfstr. 37, 79350 Sexau (DE). LEHMANN, Mirko [DE/DE]; Runzstr. 71, 79102 Freiburg (DE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 12. März 2003 (12.03.2003)
(25) Einreichungssprache: Deutsch
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
(30) Angaben zur Priorität: 102 10 819.6 12. März 2002 (12.03.2002) DE
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): MICRONAS GMBH [DE/DE]; Hans-Bunte-Str. 19, 79108 Freiburg (DE).
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MICRO-STRUCTURED GAS SENSOR WITH CONTROL OF GAS SENSITIVE PROPERTIES BY APPLICATION OF AN ELECTRIC FIELD

(54) Bezeichnung: MIKROSTRUKTURIERTER GASSENSOR MIT STEUERUNG DER GASSENSITIVEN EIGENSCHAFTEN DURCH ANLEGEN EINES ELEKTRISCHEN FELDES



$$L_D = \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 k T}{q^2 N}} \quad (I)$$

(57) Abstract: The invention relates to an integrated gas sensor having a semi-conducting body on which a gas sensitive resistance layer (4) contacted by electrodes (5) is arranged. At least one field electrode (2, 6) is disposed underneath said resistance layer (4) and is separate from an insulating layer (3). The invention is characterised in that the insulating layer (3) has a thickness which is at least approximately less or equal to the 10-fold value of the Debye-length L_D (1) corresponding to said insulating layer (3), wherein T represents temperature, ϵ represents a material dependent dielectricity number, ϵ_0 represents dielectricity constants, k represents Boltzmann's constants, N represents a charge carrier concentration and q represents an elementary charge.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung beschreibt einen integrierten Gassensor mit einem Halbleiterkörper, auf welchem eine von Elektroden (5) kontaktierte gassensitive Widerstandsschicht (4) angeordnet ist, unter welcher von einer Isolierschicht (3) getrennt mindestens eine Feldelektrode (2; 6) sitzt. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierschicht (3) eine Dicke aufweist, die mindestens annähernd kleiner gleich etwa dem 10-fachen der zu dieser Isolierschicht (3) entsprechenden Debye-Länge L_D mit Formel (I) ist, wobei T Temperatur ϵ Materialabhängige Dielektrizitätszahl ϵ_0 Dielektrizitätskonstante k Boltzmannkonstante N Ladungsträgerkonzentration q Elementarladung bedeuten.



MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,
SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Mikrostrukturierter Gassensor mit Steuerung der gassensitiven Eigenschaften durch Anlegen eines elektrischen Feldes

Die Erfindung betrifft einen mikrostrukturierten Gassensor gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Solche mikrostrukturierten Gassensoren sind z.B. in DE 44 42 396 A1 und DE 195 44 303 A1 beschrieben.

Bei der Messung von Luftschadstoffkonzentrationen im ppm- und ppb-Bereich wurden in den letzten Jahren zunehmend resistive Gassensoren eingesetzt. Hauptvorteile solcher Halbleitergassensoren ist ihre kostengünstige Herstellung, kombiniert mit einer einfachen Möglichkeit zur hybriden Integration in elektronische Systeme zur Messwertaufbereitung. Halbleitergassensoren sind elektrische Leitfähigkeitssensoren. Bei Betriebstemperaturen von 50°C bis 900°C ändert sich der elektrische Widerstand der halbleitenden Schicht bei Kontakt mit dem zu detektierenden Gas. Diese reversible Reaktion macht den elektronischen Nachweis eines Gases möglich. Typische Nachweiskase sind NO_x, CO, Kohlenwasserstoffe, NH₃, O₃, H₂O. Sowohl die Elektrodenstrukturen als auch die gassensitiven Schichten dieser Sensoren werden vorwiegend in Dick- und Dünnschichttechnik ausgeführt. Als Materialien für die sensorisch aktiven Elemente sind halbleitende Metalloxide wie SnO₂, WO₃, In₂O₃, Ga₂O₃, Cr_{2-x}Ti_xO₃ etc. und organische Halbleiter gebräuchlich (Polypyrrol, Polyanilin, Phtalocanine) [1]. Hierbei wird üblicherweise über die Temperatur die chemische Reaktion an den halbleitenden Schichten beeinflusst.

Auf eine geeignete Substratplattform sind bei diesen Anordnungen üblicherweise Heizer und Temperaturfühlerstrukturen integriert. Auf derartigen Plattformen werden dann mit Methoden der Dickschicht- und Dünnschichttechnik die sensitiven Metalloxidschichten wie beispielsweise SnO₂ aufgebracht. Mit Hilfe der mikrostrukturierten Substratplattformen wird eine Konzentration der

Wärmeentwicklung des Heizers auf die sensitive Fläche erreicht, während der Umgebungsbereich kalt bleiben kann. Dies ist beispielsweise vorteilhaft, um die Nachweiselektronik auf dem kalten Substratteil unterzubringen [2]. Die thermische Entkopplung erfolgt beispielsweise über dünne Membranen aus $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ oder sogenannte Hotplate-Strukturen [3].

Halbleiter-Gassensoren (Metalloxidsensoren) basieren auf dem (vereinfachten) Funktionsprinzip, daß Gasmoleküle an Halbleiteroberflächen adsorbieren und dabei zu einem gewissen Anteil mit dem Halbleiter eine chemische Bindung eingehen (Chemisorption). Dabei werden Elektronen im Halbleiter-Adsorbatkomplex lokalisiert/gebunden bzw. von ihm freigesetzt. Im Bändermodell des Halbleiters entspricht dies einer Besetzung eines Oberflächenzustandes (mit Elektronen oder Löchern), der in seiner energetischen Lage nahe der Fermienergie in der Bandlücke lokalisiert sein muß [4].

Da die gebundenen Ladungsträger für den Stromtransport nicht mehr zur Verfügung stehen, wird diese Umbesetzung von Oberflächenzuständen üblicherweise mit Leitfähigkeitssensoren detektiert. Eine in etwa äquivalente, bislang industriell ungenutzte Messmöglichkeit sind Oberflächenpotentialsensoren (z.B. SGFET) [5,6]. Zentraler Nachteil der bisherigen Anordnungen (z.B. SGFET) ist das kein Design den planaren Herstellungsverfahren der üblichen Halbleiterfertigung Rechnung trägt.

Durch die Umbesetzung von Oberflächenzuständen werden die energetischen Niveaus (Lage des Fermi-niveaus) verschoben. Dies wiederum hat rückwirkende Auswirkungen auf die Oberflächenzustände selbst, da die zur Verfügung stehenden energetischen Niveaus nun anders verteilt sind. Dies ist z.B. der Grund, warum nur ein Teil der adsorbierten Gasmoleküle in den chemisorbierten Zustand überwechseln können, da sich mit der Lage des Fermi-niveaus unter Chemisorption die Besetzungswahrscheinlichkeit des Oberflächenzustandes verringert (Selbsthemmung, „Weisz-Effekt“) [7].

Weiterhin ist aus den Grundlagen der Halbleiterelektronik bekannt, daß die Lage des Fermi-niveaus nicht nur durch die Temperatur und die Dotierung sondern auch durch elektrische Felder beeinflußt werden kann. Bei den Gassensoren des Standes der Technik wird die Lage des Fermi-niveaus über die Temperatur vorgenommen, in der vorliegenden Erfindung über elektrische Felder. Dies ist auch unter dem Begriff Elektroadsorption bekannt. Wird deshalb an einer gasempfindlichen Halbleiteroberfläche ein elektrisches Feld eingeprägt, so wird über die damit hervorgerufene Verschiebung des Fermi-niveaus, die Adsorptionswahrscheinlichkeit (Chemisorption und Physisorption) von Gasen an diesen Oberflächen steuerbar gemacht. Damit werden Gassensoren in ihrer Empfindlichkeit auf verschiedene Gase elektrisch modulierbar. Damit hat man einen leistungslosen einstellbaren Parameter für Gassensoren zur Verfügung, der die Empfindlichkeitsmodulation über die Heizertemperatur bezüglich Ansprechzeit und Selektivität erheblich erweitern kann.

Dieser Elektroadsorptive Effekt wurde 1957 von Fedor Wolkenstein postuliert [8]. Weil aber sehr hohe elektrische Felder (nahe des dielektrischen Durchbruchs der Luft) benötigt werden, dauerte es bis in das Jahr 1968, in dem Hoenig und Lane [9] mit großem experimentellen Aufwand das Auftreten dieses Effektes an einer dünnen Zinkoxidschicht, die in einem Plattenkondensator verbracht wurde, experimentell nachwiesen.

Das Potential, das in dieser elektrischen Sensitivitätssteuerung von MST-Gassensoren liegt, wurde von diesen Gruppen [10], [11], [12] unmittelbar erkannt und schlug sich in einer vergleichsweise großen Zahl von Patentanmeldungen für solche Sensoren nieder, allerdings wurde bislang noch kein Gassensor entwickelt, dessen Design auf die vertikale elektrische Steuerbarkeit seiner Empfindlichkeit ausgelegt ist.

Die Erfindung verfolgt das Ziel einer verbesserten Gassensorik durch die Ausnutzung des elektroadsorptiven Effektes mit kleinen und kostengünstigen Sensoren, die u.a. in der Produktions- und Prozessmesstechnik, im Automobilbereich, in der Sicherheitstech-

nik und in der Klima- und Umweltsensorik eingesetzt werden können. Mit der Erfindung können Halbleitergassensoren mit deutlich besseren Eigenschaften als bisher realisiert werden. Insbesondere soll der erfindungsgemäße Gassensor hinsichtlich seiner Selektivität erhöht sein und mit niedrigeren Betriebstemperaturen, also bei deutlich unter 300° Celsius, arbeiten können.

Dieses Ziel wird durch einen mikrostrukturierten Gassensor mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Weiterbildungen dieses Gassensors sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung beruht auf Gassensoren, die auf der Basis gassensitiver halbleitender Materialien arbeiten. Im Gegensatz zu den bekannten Gassensoren aus halbleitenden Material, bei denen eine Widerstandsänderung in der Widerstandsschicht allein durch zwei Elektroden ausgelesen werden, sind bei den erfindungsgemäßen Sensoren zusätzlich mindestens eine, vorteilhafterweise jedoch mehrere Elektroden, zur Selektivitätssteuerung innerhalb des Halbleiterkörpers des Gassensors vorhanden. Dabei befindet (be- finden) sich diese weitere(n) Elektrode(n) unterhalb der Widerstandsschicht und sind von dieser durch eine Isolierschicht getrennt. Diese weitere(n) Elektrode(n) dient (dienen) zum Einkoppeln eines auf den Halbleiter wirkenden elektrischen Feldes. Ausgenutzt wird hierbei der Einfluß von elektrischen Feldern auf die Gasreaktion der sensitiven Schicht. Dazu ist es nötig, daß ein über eine Feldelektrode in den Halbleiterkörper des Gassensors eingekoppeltes elektrisches Feld bis auf die dem Gas zugewandte Oberfläche der gassensitiven Schicht wirkt. D.h. die über der Gateelektrode liegenden Schichten dürfen das elektrische Feld nicht abschirmen. Ein Maß für die Abschirmlänge bei Halbleitern ist die Debyelänge L_D . Erfindungsgemäß hat die zwischen Widerstandsschicht und weitere Elektrode(n) befindliche Isolierschicht eine maximale Dicke, die mindestens annähernd kleiner etwa gleich der 10-fachen Debyelänge des eingesetzten Isoliermaterials entspricht. Vorzugsweise ist die Dicke etwa kleiner

5

gleich der 3-fachen Debyelänge und besonders bevorzugt ist die Dicke kleiner gleich dieser Debyelänge gewählt.

Dabei ist die Debyelänge L_D folgendermaßen definiert:

$$L_D = \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 k T}{q^2 N}}$$

wobei

T Temperatur
 ϵ Materialabhängige Dielektrizitätszahl
 ϵ_0 Dielektrizitätskonstante
k Boltzmannkonstante
N Ladungsträgerkonzentration
q Elementarladung

bedeuten.

L_D liegt z.B. bei dem häufig eingesetzten gas sensitiven Material SnO_2 bei ca. 60 bis 80nm. Die Abschirmlänge bei Isolatoren ist theoretisch sehr groß. Durch Verunreinigungen bzw. Störstellen und Grenzflächenzuständen bei einem realen Bauteil sollte aber die Dicke der Isolatorschicht 300nm nicht überschreiten, damit noch ein genügend starkes elektrisches Feld in das sensitive Material des Gassensors eingekoppelt werden kann.

Bevorzugt sind in den Halbleiterkörper (Frage: Halbleiterkörper ist alles, oder?) des Gassensors ein Vielzahl von weiteren Elektroden angeordnet. Durch diese Ausbildung, die bevorzugt, jedoch nicht notwendigerweise mit der oben erwähnten Dimensionierung der Isolierschicht eingesetzt wird, ist es möglich ganz gezielt den Gradienten im Oberflächenpotentialverlauf, der durch den Potentialabfall zwischen den zwei Elektroden der Widerstandsschicht bedingt ist, entgegenzuwirken (zu beeinflussen).

Die erfindungsgemässen Sensoren bestehen aus halbleitenden Materialien (wie z.B. den Metalloxiden: SnO_2 , WO_3 , In_2O_3 , Ga_2O_3 , $\text{Cr}_2\text{-xTi}_x\text{O}_{3+z}$ etc. oder organischen Halbleitern) unter denen getrennt

durch eine Isolatorschicht eine oder mehrere weitere Elektroden, im folgenden Feldelektroden genannt, angebracht sind.

Die erfindungsgemässen Anordnungen zeichnen sich unter anderem dadurch aus, daß sie auf in der Mikroelektronik üblichen Substraten strukturiert werden (wie Silizium und Siliziumdioxid). Zudem ist es auch möglich auf anderen in der Gassensorik üblichen Substraten wie Al_2O_3 (inkl. Saphir) in seinen üblichen Ausführungsformen aufzubauen.

Besonders zweckmäßig ist ein Isolatormaterial zwischen Steuerelektrode und Halbleiter zu verwenden, daß einer hohen Durchbruchfeldstärke widersteht und elektrische Felder nicht abschirmt.

Folgende Verbesserungen und Vorteile gegenüber dem Stand der Technik lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Gassensor nennen:

Übliche Gassensoren werden bei hohen Temperaturen (250°C - 900°C) betrieben (Grund: Beeinflussung von Absorption s.o.). Mit der erfindungsmäßigen Anordnung lassen sich die Betriebstemperaturen auf Werte unter 200°C reduzieren.

Von der erfindungsmäßigen Anordnung ist durch Ausnutzen des elektroadsorptiven Effektes eine verbesserte Selektivität der Sensoren auf ein Zielgas zu erwarten.

Die Vorzüge einer niedrigen Betriebstemperatur werden noch deutlicher durch die Möglichkeit der Integration von CMOS-Auswertelektronik auf dem Sensor-Chip

Die wie oben beschriebenen Sensoranordnungen lassen sich durch Ausnutzen des elektroadsorptiven Effektes als integraler Sensor betreiben (Dosimeter).

Durch Modulieren der Gatespannung kann noch ein kinetischer Effekt eingeführt werden. Ein Betrieb mit einer nicht-stationären Gatespannung verschiebt periodisch das Fermi-Niveau im Metall-

oxid, d.h. Veränderung des elektrochemischen Gleichgewichtes unter dem Einfluß einer externen Spannung an der Feldelektrode. Durch die periodische Modulation der Gatespannung kommt es zu wechselförmigen Widerstandsänderung der sensitiven Schicht. Durch Spektralanalyse dieser wechselförmigen Widerstandsänderung erscheint es möglich, verschiedenen Frequenzkomponenten verschiedene Gase zuzuordnen und damit eine Selektivitätssteigerung zu erreichen.

Die Möglichkeit der elektrischen Desorption von adsorbierten Gasen, die mit einem starken Feldpuls von der Oberfläche der sensitiven Schicht vertrieben werden können. Auf diese Weise wird ein Ausgangszustand (Baseline-Nullung) der Sensoren im laufenden Betrieb wiederhergestellt.

Eine weitere Möglichkeit (als Alternative zur Finger-Elektrodenstruktur), die laterale Verteilung des Feldes unter der sensitiven Schicht herbeizuführen besteht darin, die Steuerelektrode als Widerstand auszuführen, so daß der Potentialabfall entlang des stromdurchflossenen Widerstands parallel zum (beabsichtigten) Oberflächenpotentialverlauf der sensitiven Schicht verläuft.

Eine Kombination der Temperaturvariation des Sensors mit der Feldsteuerung ist möglich.

Die alternativen Betriebsarten des steuerbaren Sensors im linearen / aktiven Bereich des Dünnschichttransistors sind möglich.

Eine Anpassung der Fingerelektrodenweite an die Korngröße des sensitiven Materials mit dem Optimum, daß ein Finger jeweils ein Korn ansteuert (oder wenige Körner) oder daß der Fingerelektrodenabstand im Bereich der Debylänge des sensitiven Materials oder alternativ dazu eine Fingerelektrodenweite die kleiner gleich der Debylänge des sensitiven Materials ist.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit Figuren erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 Prinzipdarstellung der Wirkungsweise eines gassensitiven Sensors nach der Erfindung,
- Fig. 2 eine erste Ausführungsform des Gassensors mit einer einzigen im Halbleiterkörper befindlichen Feldelektrode,
- Fig. 3 eine zweite Ausführungsform des Gassensors mit einer Vielzahl von im Halbleiterkörper befindlichen Feldelektroden, und
- Fig. 4 ein CMOS-TFT-Gassensor mit Ansteuerelektronik im Schnittbild.

Der Hauptgedanke der Erfindung (siehe Fig. 1) ist folgender: Hat man eine Elektrode 1 unter einem gassensitiven Halbleiter 3 und einer Isolatorschicht 2, so kann der elektroadsorptive Effekt nur dann eintreten, wenn die Dicke des gassensitiven Halbleiters in der Größenordnung der Debye-Länge L_D ist. Dadurch kann die Oberflächenabsorption des Gases 4 durch das elektrische Feld beeinflusst werden. Des weiteren muß dafür Sorge getragen werden, daß der Isolator störstellenarm ist, da diese Störstellen die Debye-Länge des Isolators 5, beträchtlich heruntersetzt und damit ein Durchgreifen des Feldes auf die gassensitive Schicht verhindert. Beispiele von Debye-Längen für SnO_2 sind z.B. 60.80 nm, für einen realen Isolator liegen diese im Bereich unterhalb mehrere μm .

In Fig. 2 ist das Schnittbild eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Gassensors gezeigt. Es ist ein Halbleitersubstrat 1 vorgesehen, auf welchem eine gassensitive Schicht mit einer Dicke von z.B. 59nm liegt. Diese gassensitive Schicht 4 ist von zwei Elektroden 5 kontaktiert. Die gassensitive Schicht kann bzw. aus SnO_2 bestehen. Die Debye-Länge dieser gassensitiven Schicht liegt bei ca. 80 nm. Unterhalb dieser gassensitiven

Schicht 4 sitzt von einer Isolierschicht 3 getrennt eine Feldelektrode 2. Diese Feldelektrode 2 ist als Plattenelektrode ausgebildet und befindet sich ganzflächig unterhalb der gassensitiven Schicht 4. Die Isolierschicht 3 hat beispielsweise eine Dicke von 200 nm, die Debye-Länge dieser Schicht beträgt ca. 300 nm, wenn als Material Siliziumoxid für die Isolierschicht 3 verwendet wird.

Ein Maß für die Abschirmlänge bei Halbleitern ist die bereits erwähnte Debyelänge L_D

$$L_D = \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 k T}{q^2 N}}.$$

Die Debye-Länge L_D beträgt also bei den häufig eingesetzten gassensitiven Material SnO_2 ca. 60 bis 80 nm. Mit der oben erwähnten Dicke der Isolierschicht 3 von ca. 200 nm ist gewährleistet, daß ein genügend starkes elektrisches Feld über die Feldelektrode 2 in den Halbleiter eingekoppelt werden kann.

In Fig. 3 ist eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Gassensors gezeigt. Im Unterschied zu dem Gassensor von Fig. 2 befindet sich jetzt nicht eine einzige Feldelektrode unterhalb der gassensitiven Schicht, sondern eine Vielzahl von Mikroelektroden 6.

Die Verwendung von solchen zueinander beabstandeten Mikroelektroden hat folgenden Vorteil. Die gassensitiven Eigenschaften einer Halbleiterschicht sind vom Oberflächenpotential und damit der Lage des Fermi-Niveau der gaszugewandten Oberfläche der gassensitiven Schicht 4 abhängig. Dieser Effekt wird im vorliegenden Fall zur Sensitivitäts- und Selektivitätssteuerung ausgenutzt. Um diesen Effekt optimal ausnutzen zu können, ist es wünschenswert, ein konstantes Potential über die gesamte Halbleiteroberfläche der gassensitiven Schicht zu haben.

Legt man eine Spannung an die Elektroden 5 zum Auflösen des Widerstandes der gassensitiven Schicht 4 an die Elektroden 5 an,

so kommt es zu einem Potentialabfall zwischen den beiden Elektroden 5 und zu einem Gradienten im Oberflächenpotential. Durch Anlegen unterschiedlicher Spannungen an die zueinander einzeln ausgeführten Mikroelektroden 6, die elektrisch zueinander isoliert unter der gassensitiven Schicht 4 innerhalb des Halbleitersubstrates 1 sitzen, ist es möglich, diesen Gradienten entgegen zu steuern und so ein konstantes Potential an der Halbleiteroberfläche einzustellen bzw. in gewünschte Richtungen zu schieben.

Die erfindungsgemässen Anordnungen verfügen über eine Heizung (vgl. Fig. 4) für die erforderlichen Arbeitstemperaturen größer 100°C . Der Chip muß auf über 100°C geheizt werden, da sonst adsorbiertes Wasser an der Oberfläche der sensitiven Schicht die Gasreaktion behindert. Diese Widerstandsheizung kann sich wie in Fig. 4 gezeigt vergraben in dem Substrat befinden oder auf der Oberfläche strukturiert sein. Da die Sensitivität von Halbleitergassensoren temperaturabhängig ist, ist es besonders günstig, wenn die Heizung steuerbar und/oder regelbar ist. Dazu ist es günstig einen Temperatursensor auf dem Sensorchip zu integrieren, dessen Signal zur Temperatur-Istwerterfassung eingesetzt werden kann.

Besonders zweckmäßig erscheint die erfindungsmässige Anordnung, um die Betriebstemperaturen üblicher Halbleitergassensoren (250°C - 900°C) auf Werte unter 180°C zu reduzieren. Als besondere Ausführungsform ist demnach auch eine Integration von CMOS-Schaltungen auf dem Sensorchip möglich.

Fig.4 zeigt den schematischen Aufbau eines erfindungsmässigen Gassensors mit CMOS-Ansteuerelektronik.

VI Literatur

- [1] Williams D.: Semiconducting oxides as gas-sensitive resistors, Sensors and Actuators B: Chemical B 57 (1-2) (1999) 1 - 16
- [2] "On-chip thermally isolated hot-plate structure" A.Götz, C.Cané, H.Bottner, K.Seibert, German Patent Num. DE19944410.2
- [3] I.Simon, N. Barsan , M.Bauer, U. Weimar: Micromachined metal oxide gas sensors: opportunities to improve sensor performance, Sensors and Actuators B 73 (2001) 1-26
- [4] Geistlinger H.: Electron theory of thin-film gas sensors, Sens.&Act. B 17 (1993) 47-60
- [5] T. Doll, M. Bögner, A. Fuchs, I. Eisele, Design and Fabrication of HSGFET Gas Sensors, Micro System Technologies 96 Proceedings
- [6] Lundström, M.S. Shivaraman, L. Lundkvist, A hydrogen-sensitive MOS field-effect transistor, Appl. Phys. Lett. 26 1975 55-57.
- [7]] Weisz P.B.: Effects of electronic transfer between adsorbate and solid on chemisorption and catalysis, Journal Chemical Physics, Vol 21, 1531-1538 (1953).
- [8] Wolkenstein T.: Electronic Processes on Semiconductor Surfaces during Chemisorption, Consultant Bureau, New York & London, 1991.
- [9] Hoenig, Lane, Oxygen on ZnO, Surface Science 11 (1968)
- [10] W. Hellmich, G. Müller und G. Krötz; Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung spezifischer Gas- und Ionenkonzentrationen, Deutsche Patentanmeldung 1995

[11] U. Storm, O. Bartels and J. Binder, A resistive gas sensor with elimination and utilization of parasitic electric fields, Sensors and Actuators B: Chemical 77 (1-2) (2001) pp. 529-533

[12] E. Comini, A. Cristalli, G. Faglia and G. Sberveglieri, Light enhanced gas sensing properties of indium oxide and tin dioxide sensors, Sensors and Actuators B: Chemical 65 (1-3) (2000) pp. 260-263

[13] L.I. Popova, S.K. Andreev, V.K. Gueorguiev, N.D. Stoyanov, Voltage dependence gas-sensing behaviour of SnO_2 -gate FETs, Sens. Actuators, B: Chem. 19 1994 543-545

Patentansprüche

1. Integrierter Gassensor mit einem Halbleiterkörper, auf welchem eine von Elektroden (5) kontaktierte gassensitive Widerstandsschicht (4) angeordnet ist, unter welcher von einer Isolierschicht (3) getrennt mindestens eine Feldelektrode (2; 6) sitzt,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Isolierschicht (3) eine Dicke aufweist, die mindestens annähernd kleiner gleich etwa dem 10-fachen der zu dieser Isolierschicht (3) entsprechenden Debye-Länge L_D mit

$$L_D = \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0 k T}{q^2 N}}$$

ist, wobei

T Temperatur

ϵ Materialabhängige Dielektrizitätszahl

ϵ_0 Dielektrizitätskonstante

k Boltzmannkonstante

N Ladungsträgerkonzentration

q Elementarladung

bedeuten.

2. Integrierter Gasssensor nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Isolierschicht (3) eine Dicke aufweist, die mindestens annähernd kleiner gleich etwa dem 3-fachen der zu dieser Isolierschicht (3) entsprechenden Debye-Länge L_D ist.
3. Integrierter Gasssensor nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Isolierschicht (3) eine Dicke aufweist, die mindestens annähernd kleiner gleich etwa der zu dieser Isolierschicht (3) entsprechenden Debye-Länge L_D ist.

4. Integrierter Gassensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3 oder nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass als Feldelektrode eine Vielzahl von mikrostrukturierten Feldelektroden (6) vorgesehen ist.
5. Integrierter Gassensor nach Anspruch 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass jede der mikrostrukturierten Feldelektroden (6) einzeln ansteuerbar ist.
6. Integrierter Gassensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in den Halbleiterkörper eine oder mehrere Heizelektroden integriert sind.
7. Integrierter Gassensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass in den Halbleiterkörper eine Ansteuerelektronik für den Gassensor monolithisch integriert ist.
8. Integrierter Gassensor nach einem der Anspruch 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Ansteuerelektronik zur Temperatursteuerung vorgesehen ist.
9. Integrierter Gassensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Dicke der gassensitiven Schicht (4) maximal etwa 100 mal größer ist als die Debye-Länge dieser gassensitiven Schicht.
10. Integrierter Gassensor nach Anspruch 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Abstand zwischen den mikrostrukturierten Elektroden (6) in der Größenordnung der Korngröße der gassensitiven Schicht (4) zu bringen ist. Hier noch Unteransprüche S. 7 ab Zeile 27 einfügen

15

11. Integrierter Gassensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierschicht (3) eine hohe Durchbruchfeldstärke (Si_3N_4 ; Al_2O_3 ; SiO_2) aufweist und elektrische Felder zumindestens weitgehend nicht abschirmt.
-

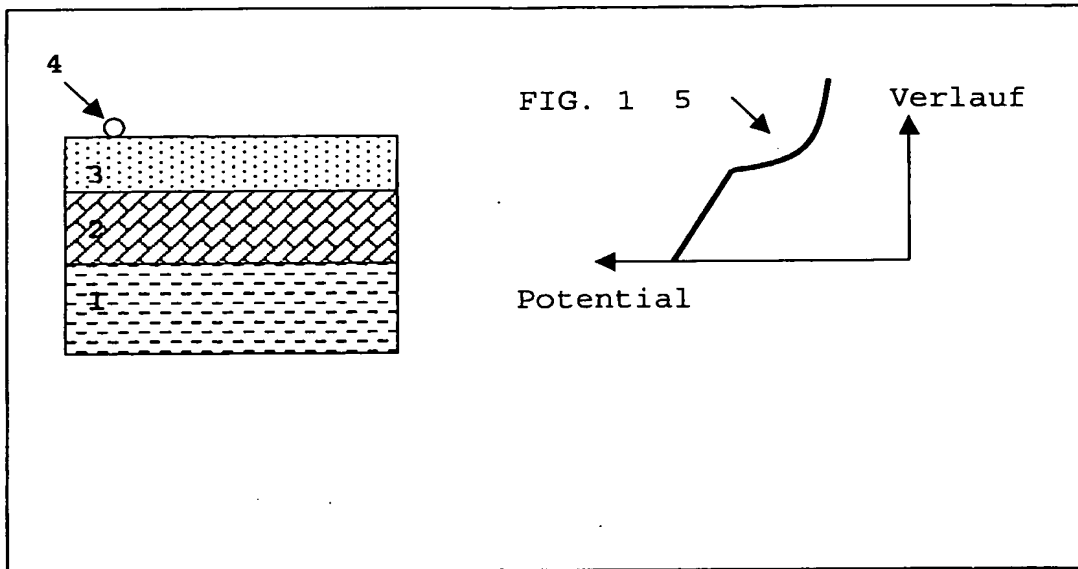


FIG. 1

- 1: Elektrode auf Potential;
- 2: Isolator;
- 3: gassensitive Schicht;
- 4: Gasmolekül;
- 5: Potentialverlauf im Schichtaufbau

FIG. 2

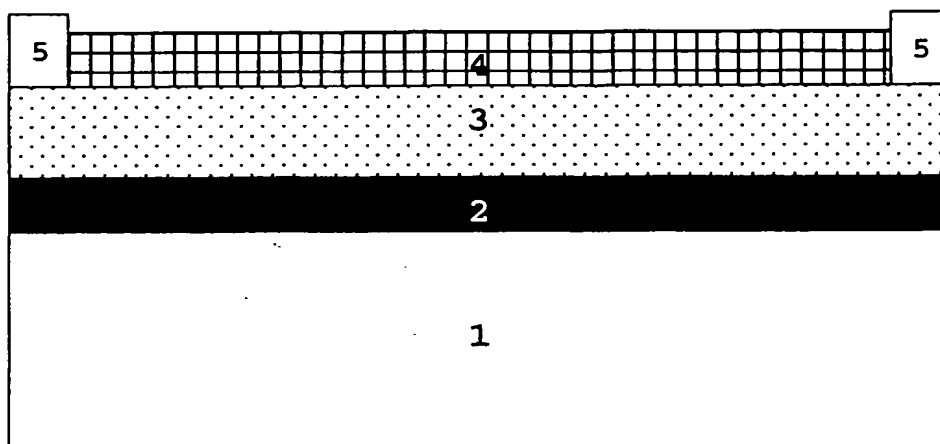
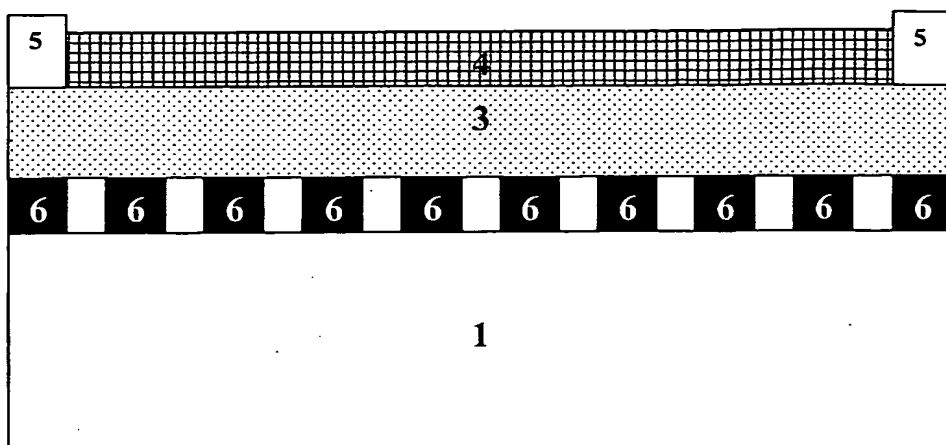


FIG. 3



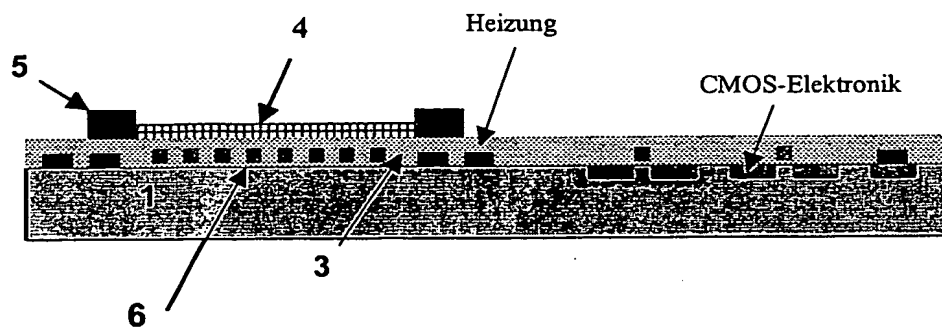


FIG. 4